

特開平8-168281

(43) 公開日 平成8年(1996)6月25日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 2 P 5/00	P			
	X			
G 0 5 B 11/36	5 0 1 C	7531-3H		

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願平6-307760	(71) 出願人	000006622 株式会社安川電機 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
(22) 出願日	平成6年(1994)12月12日	(72) 発明者	柴田 尚武 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内
		(72) 発明者	浜田 兼幸 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内
		(72) 発明者	浜本 浩明 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内
		(74) 代理人	弁理士 小堀 益

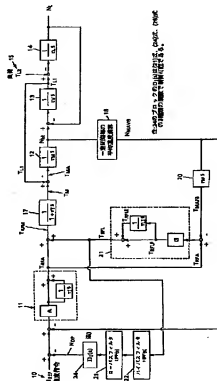
## (54) 【発明の名称】 電動機ねじり振動抑制制御方法

## (57) 【要約】

【目的】 より高い共振周波数においても良好にねじり振動を抑制する方法を提供する。

【構成】 ねじりバネ系を有する駆動軸を介して電動機の駆動トルクを負荷へ伝達する機構を持つ電動機速度制御系において、速度制御器11の出力信号 $T_{REF}$ と電動機の検出速度信号から演算した電動機負荷トルク推定信号 $T_{RFL}$ を前記速度制御器11の出力信号に加えた信号 $T_{REF}$ を新たなトルク指令として電動機のトルクを制御することにより、電動機の負荷トルクを打ち消して振動振幅が大きくなるのを防ぐとともに、前記電動機負荷トルク推定信号 $T_{RFL}$ から演算したダンピング制御信号を電動機速度指令信号より減じた信号を新たな速度指令信号として電動機速度を制御することによってねじり振動系にダンピング要素を生成する。

【効果】 加減速中や負荷急変時に発生する駆動軸のねじり振動が抑制され、負荷応答特性を改善することができる。



BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 電動機の負荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して、電動機から負荷へ駆動トルクを伝達する機構と、速度指令信号 $N_{REF}$ に対して速度検出器により検出した電動機速度検出信号について一定周期毎の平均値の演算により得られた電動機平均速度 $N_{MVG}$ 又は前記電動機速度検出信号を1次遅れ要素を持つフィルタを介して平均化した電動機平均速度 $N_{MVG}$ を帰還して偏差信号を演算し、比例ゲインと積分器又は比例ゲインのみを持つ速度制御器により前記偏差信号を増幅して得られたトルク指令信号 $T_{RFA}$ に従って電動機のトルクを制御するように構成された電動機速度制御系において、次の(1)によって推定した駆動軸トルクを補償トルクとして前記電動機トルク指令信号 $T_{RFA}$ に加えて電動機負荷外乱トルクを打ち消すことによつて振動振幅の増大化を防ぐとともに、更に(2)によって、駆動軸のねじり振動系にダンピング要素を生成してねじり振動を抑制することを特徴とする電動機ねじり振動抑制制御方法。

(1) 前記速度制御器により出力された前記トルク指令信号 $T_{RFA}$ に対し、前記電動機平均速度信号 $N_{MVG}$ を $\kappa \times 20$

$$N_{DP} = \left( \frac{2\delta}{\omega \tau_L} \right) \left\{ \sqrt{1 + \frac{\tau_L}{\tau_M}} \right\} \\ \times \left\{ 1 + \left[ \frac{1+G}{G} + \frac{\omega \left( \frac{\tau_M}{A} \right)}{2\delta G \sqrt{1 + \frac{\tau_L}{\tau_M}}} \right] \tau_{L1} s \right\} \\ \times \left( 1 + \frac{\tau_M s}{A} \right) \text{HPF}(s) \cdot \text{LPF}(s) \cdot T_{RFL}$$

但し、 $s$ はラプラス演算子であり、 $\omega$ はねじり振動系の固有共振周波数であり次式で表される。

## 【数2】

$$\omega = \sqrt{\frac{\tau_M + \tau_L}{\tau_M \tau_L \tau_v}}$$

によりねじり振動ダンピング制御信号 $N_{DP}$ を演算し、前記速度指令信号 $N_{REF}$ より前記ねじり振動ダンピング制御信号 $N_{DP}$ を減じることにより得られる速度指令信号 $\kappa$

$$N_{DP} = \left( \frac{2\delta}{\omega \tau_L} \right) \left\{ \sqrt{1 + \frac{\tau_L}{\tau_M}} \right\} \left( \frac{1 + \left( \frac{1+G}{G} \right) \tau_{L1} s}{1 + \tau_{L1} s} \right) \\ \times \left( 1 + \frac{\tau_M s}{A} \right) \text{HPF}(s) \cdot \text{LPF}(s) \cdot T_{RFL}$$

【請求項3】 前記請求項1において、ねじり振動ダンピング制御信号 $N_{DP}$ の演算式【数1】の代わりに次の【数4】を用いて制御することによりねじり振動系にダ

※分した信号に電動機の機械的時定数 $\tau_M$ を乗じた信号を電動機加速トルク指令信号 $T_{MAFR}$ として帰還し、その偏差信号を電動機負荷トルク補償器の比例ゲイン積分演算器により増幅することによって得られた電動機負荷トルク推定信号 $T_{RFL}$ を前記速度制御器より出力されるトルク指令信号 $T_{RFA}$ に加えた信号 $T_{RPM}$ を最終的なトルク指令として電動機のトルクを制御することにより、電動機負荷外乱トルクを打ち消す。

(2) 前記(1)の電動機負荷トルク推定信号 $T_{RFL}$ をハイパスフィルタ $\text{HPF}(s)$ とローパスフィルタ $\text{LPF}(s)$ を介することによって前記(1)の方法によって推定した電動機負荷トルク推定信号 $T_{RFL}$ に含まれる定常信号成分と高周波信号成分を除去して得られた駆動軸トルクの振動成分推定信号と、前記電動機機械的時定数 $\tau_M$ と、負荷の機械的定数 $\tau_L$ と、駆動軸のねじり時定数 $\tau_v$ と、前記速度制御器の比例ゲイン $A$ と、予め設定したダンピング係数 $\delta$ と、前記電動機負荷トルク補償器の比例ゲイン $G$ 及び積分時定数 $\tau_{L1}$ により次式

## 【数1】

※に対し前記電動機平均速度 $N_{MVG}$ を帰還して電動機の速度を制御することによりねじり振動系にダンピング要素を生成する。

【請求項2】 前記請求項1において、ねじり振動ダンピング制御信号 $N_{DP}$ の演算式【数1】の代わりに次の【数3】を用いて制御することによりねじり振動系にダンピング要素を生成してねじり振動を抑制することと特徴とする電動機ねじり振動抑制制御方法。

## 【数3】

ンピング要素を生成してねじり振動を抑制することと特徴とする電動機ねじり振動抑制制御方法。

## 【数4】

$$N_{DP} = \left( \frac{2\delta}{\omega \tau_L} \right) \left\{ \sqrt{1 + \frac{\tau_L}{\tau_M}} \right\} \left( 1 + \frac{\tau_M s}{A} \right) \\ \times HPF(s) \cdot LPF(s) \cdot T_{RFL}$$

【請求項4】 電動機の負荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して、電動機から負荷へ駆動トルクを伝達する機構と、速度指令信号 $N_{REF}$ に対して速度検出器により検出した電動機速度検出信号について一定周期毎の平均値の演算により得られた電動機平均速度 $N_{MVG}$ 又は前記電動機速度検出信号を1次遅れ要素を持つフィルタを介して平均化した電動機平均速度 $N_{MVG}$ を帰還して偏差信号を演算し、比例ゲインと積分器又は比例ゲインのみを持つ速度制御器により前記偏差信号を増幅して得られたトルク指令信号 $T_{RPA}$ に従って電動機のトルクを制御するように構成された電動機速度制御系において、次の(1)の工程によって推定した駆動軸トルクを補償トルクとして前記電動機トルク指令信号 $T_{RPA}$ に加えて電動機負荷外乱トルクを打ち消すことによって振動振幅の増大化を防ぐとともに、更に(2)の工程によって、駆動軸のねじり振動系にダンピング要素を生成してねじり振動を抑制することを特徴とする電動機ねじり振動抑制制御方法。

(1) 前記速度制御器により出力された前記トルク指令信号 $T_{RPA}$ に対し、前記電動機平均速度信号 $N_{MVG}$ を微\*

$$T_{DP} = \left( \frac{2\delta A}{\omega \tau_L} \right) \left\{ \sqrt{1 + \frac{\tau_L}{\tau_M}} \right\} \\ \times \left\{ 1 + \left[ \frac{1+G}{G} + \frac{\omega \left( \frac{\tau_M}{A} \right)}{2\delta G \sqrt{1 + \frac{\tau_L}{\tau_M}}} \right] \tau_L s \right\} \\ \times \left( 1 + \frac{\tau_M s}{A} \right) HPF(s) \cdot LPF(s) \cdot T_{RFL}$$

但し、 $s$ はラプラス演算子であり、 $\omega$ はねじり振動系の固有共振周波数であり次式で表される。

【数6】

$$\omega = \sqrt{\frac{\tau_M + \tau_L}{\tau_M \tau_L \tau_V}}$$

によりねじり振動ダンピング制御信号 $T_{DP}$ を演算し、前記速度制御器より出力されるトルク指令 $T_{RPA}$ より前記ねじり振動ダンピング制御信号 $T_{DP}$ を減じることにより得られるトルク指令信号に従って電動機のトルクを制

\*分した信号に電動機の機械的時定数 $\tau_M$ を乗じた信号を電動機加速トルク信号 $T_{MAPB}$ として帰還し、その偏差信号を電動機負荷トルク補償器の比例ゲイン積分演算器により増幅することによって得られた電動機負荷トルク推定信号 $T_{RFL}$ を前記速度制御器より出力されるトルク指令信号 $T_{RPA}$ に加えた信号 $T_{RFL}$ を最終的なトルク指令として電動機のトルクを制御することにより、電動機負荷外乱トルクを打ち消す。

(2) 前記(1)の工程の電動機負荷トルク推定信号 $T_{RFL}$ をハイパスフィルタ $HPF(s)$ とローパスフィルタ $LPF(s)$ を介することによって前記(1)の工程によって推定した電動機負荷トルク推定信号 $T_{RFL}$ に含まれる定常信号成分と高周波信号成分を除去して得られた駆動軸トルクの振動成分推定信号と、前記電動機機械的時定数 $\tau_M$ と、負荷の機械的定数 $\tau_L$ と、駆動軸のねじり時定数 $\tau_V$ と、前記速度制御器の比例ゲイン $A$ と、予め設定したダンピング係数 $\delta$ と、前記電動機負荷トルク補償器の比例ゲイン $G$ 及び積分時定数 $\tau_{LI}$ により次式【数5】

御することによりねじり振動系にダンピング要素を生成する。

【請求項5】 請求項4において、ねじり振動ダンピング制御信号 $T_{DP}$ の演算式【数5】の代わりに次の【数7】を用いて制御することにより、ねじり振動系にダンピング要素を生成してねじり振動を抑制することを中心とする電動機ねじり振動抑制制御方法。

【数7】

$$T_{DP} = \left( \frac{2 \delta A}{\omega \tau_L} \right) \left( \sqrt{1 + \frac{\tau_L}{\tau_M}} \right) \left[ \frac{1 + \left( \frac{1+G}{G} \right) \tau_{L1} s}{1 + \tau_{L1} s} \right] \\ \times \left( 1 + \frac{\tau_M s}{A} \right) \text{HPF}(s) \cdot \text{LPF}(s) \cdot T_{RFL}$$

【請求項 6】 前記請求項 4 において、ねじり振動ダンピング制御信号  $T_{DP}$  の演算式（数 5）の代わりに次の（数 8）を用いて制御することによりねじり振動系にタ\*

\*ンピング要素を生成してねじり振動を抑制することと特徴とする電動機ねじり振動抑制制御方法。

【数 8】

$$T_{DP} = \left( \frac{2 \delta A}{\omega \tau_L} \right) \left( \sqrt{1 + \frac{\tau_L}{\tau_M}} \right) \left( 1 + \frac{\tau_M s}{A} \right) \\ \times \text{HPF}(s) \cdot \text{LPF}(s) \cdot T_{RFL}$$

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、ねじりバネ系を有する駆動軸を介して電動機から負荷へ駆動トルクが伝達される機構を備えた機械設備において、電動機の回転速度を制御する駆動制御装置のねじり振動抑制方法に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】 図 5 は、一般的な可変速駆動装置の機械図を示すもので、機械 5 には、電動機 2 によりねじり剛性率  $K$  [kgm/rad] の駆動軸 4 を介して回転トルクが伝達されている。

【0003】 可変速制御装置 1 は、電動機 2 に取り付けられた速度検出器 3 により検出した信号を速度帰還信号として電動機 2 の速度を制御している。

【0004】 図 6 は公知のねじり振動系を含む速度制御ブロックダイアグラムを示す。同図において、速度制御器 11 は比例ゲイン  $A$  および時定数  $\tau_L$  の積分器を持ち、10 で示す速度指令  $N_{REF}$  と速度帰還信号  $N_{MFB}$  との偏差を増幅し、トルク指令信号  $T_{REF}$  を出力する。そのトルク指令信号  $T_{REF}$  が電動機トルク制御器 17 に入力されると電動機トルク制御器 17 は 1 次遅れ時定数  $\tau_M$  により電動機のトルクを制御する。なお、速度帰還信号  $N_{MFB}$  は、電動機の回転速度  $N_M$  を一次遅れ要素 16 ※

※ ( $\tau_F$  は速度検出フィルタ遅れ時定数) を介して生成したものである。

【0005】 前記のトルク指令信号  $T_{REF}$  に従って電動機トルク  $T_M$  が制御される。

【0006】 12 は電動機の機械の時定数  $\tau_M$  を表すブロック、13 はねじり時定数  $\tau_L$  を表すブロック、14 は負荷の機械の時定数  $\tau_L$  を表すブロックである。

【0007】 また 15 は機械 5 に掛かる負荷トルク  $T_{L0}$ 、 $N_L$  は負荷の速度である。

【0008】 図 6 のブロックダイアグラムにおいて、入力にランプ状（直線加速状）の速度指令  $N_{REF}$  を与え、電動機速度  $N_M$  と負荷速度  $N_L$  が立ち上がるときに、駆動軸 4 にねじれが生じると、電動機と機械と負荷を合わせた機械的な共振振動波数にて速度制御系の過渡的なゲインが異常に上昇することから、図 7 に示すように機械設備に有害となる周期的な負荷軸トルク変動が発生する。

【0009】 この問題の解決手段として、従来技術では、機械系の共振点の過渡的なゲインを低減するため、図 8 に示すように速度制御器 11 の出力側にねじり振動抑制フィルタ 18 を挿入していた。このねじり振動抑制フィルタ 18 の伝達関数は次式で表される。

【0010】

【数 9】

$$\frac{1}{\left( \frac{s}{\omega_F} \right)^2 + 2 \delta_F \left( \frac{s}{\omega_F} \right) + 1}$$

但し  $\omega_F$  はフィルタによる過渡ゲイン低減開始角周波数、 $\delta_F$  はフィルタ特性定数である。

【0011】 従来においては、前式に示すフィルタの角周波数  $\omega_F$  とフィルタ特性定数  $\delta_F$  と速度制御器 11 の比例ゲイン  $A$  を設備毎に調整してねじり振動の影響が小さくなるフィルタ定数を選んでいった。

【0012】 ところが、従来技術ではフィルタ定数  $\omega_F$  と  $\delta_F$  を設備毎に選んで調整するだけでは、フィルタを

入れることによって速度制御系の速度指令と速度帰還信号との位相遅れ角が更に大きくなってしまふことから、速度制御系が不安定となる。このため速度制御器の比例ゲイン  $A$  を大幅に下げなければならない場合が多く、これでは速度制御系の応答性を大幅に低下させて使用することになり、設備上必要とする速度制御応答特性が得られないという問題がある。

【0013】 そこで、本出願人は先に、これらの問題を

解決するためのねじり振動抑制方法について提案した  
(国際公開92/14296号)。

【0014】その先の提案の第1実施例の構成を図9に示す。本例では、平均速度演算器19によって電動機駆動軸に取付けた速度検出器3の信号について一定周期 $t$ 間の平均値を演算する。

【0015】この一定周期毎の平均速度の演算の方法は、例えば、速度検出器がパルス信号発生器であれば、速度検出器3より出力されるパルス信号の周期 $t$ 間の計数値を $n$ で割ることによって $t$ 間のパルスの平均周波数として、 $t$ 間の平均速度を求めることができる。アナログ式の速度検出装置の場合は、一定周期 $t$ 間速度検出器の信号を $n$ 回読み、これらの信号の合計値の $1/n$ を $t$ 間の平均速度とすることができる。\*

$$T_{L1} = T_M - T_{MA} \\ T_{RFL} = T_{RPM} - T_{RFA}$$

電動機トルク制御器17によるトルク制御遅れは小さいので無視すれば、 $T_M = T_{RPM}$ となる。電動機負荷トルク補償器21は $T_{RFA} - T_{MA}$ が0となるように $T_{RFL}$ を※ $T_{RFL} = T_M - T_{MA}$

(3)式に(1)式の $T_M - T_{MA}$ を代入すると $T_{RFL} = T_{L1}$ となり、負荷外乱トルクが $T_{RFL}$ により打ち消されることになる。

【0020】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記先の提案による図9に記載された方法においては、電動機のトルク制御器の遅れが大きく、トルク応答が低い駆動制御装置に前記提案の発明を適用すると、機械系の共振周波数が高い場合は、軸振動の抑制が不十分となるという問題があった。

【0021】そこで本発明は、より高い共振周波数においても良好にねじり振動を抑制する方法を提供することを目的とする。

【0022】

【課題を解決するための手段】この目的を達成するため、本願の第1～3の発明は、電動機の負荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して、電動機から負荷へ駆動トルクを伝達する機構と、速度指令信号 $N_{REF}$ に対して速度検出器により検出した電動機速度検出信号について一定周期毎の平均値の演算により得られた電動機平均速度 $N_{MAVG}$ 又は前記電動機速度検出信号を1次遅延要素を持つフィルタを介して平均化した電動機平均速度 $N_{MAVG}$ を帰還して偏差信号を演算し、比例ゲインと積分器又は比例ゲインのみを持つ速度制御器により前記偏差信号を増幅して得られたトルク指令信号 $T_{RFA}$ に従って電動機のトルクを制御するように構成された電動機駆動系において、次の(1)の工程によって推定した駆動軸トルクを補償トルクとして前記電動機トルク指令信号 $T_{RFA}$ に加えて電動機負荷外乱トルクを打ち消すことによって振

\*【0016】速度制御器11の出力のトルク指令信号 $T_{RFA}$ と電動機加速トルク制御器25の出力信号 $T_{RFL}$ を加えた信号をトルク指令 $T_{RPM}$ として電動機のトルク制御を行うことにより電動機の加速トルクの外乱となっている負荷トルク $T_{L1}$ に対しては、電動機負荷トルク補償器21の出力のトルク指令補償信号 $T_{RFL}$ によって打ち消す方向に制御される結果、前記の電動機トルク指令信号が、加速中や負荷急変時の駆動軸のねじれによって発生する電動機の外乱トルクを打ち消す方向に作用して、ねじり振動が抑制される。

【0017】これを更に説明すれば、図9において $T_{RFA}$ 、 $T_{RFL}$ 、 $T_{RPM}$ 、 $T_M$ 、 $T_{MA}$ 、 $T_{L1}$ は単位法(P・U)で表されており、次の関係が成立する。

$$\begin{aligned} \text{【0018】} \quad & \dots\dots\dots (1) \\ & \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

※演算し出力する。(2)式に $T_{RPM} = T_M$ 、 $T_{RPA} = T_{MA}$ を代入すると $T_{RFL}$ は次のようになる。

$$\text{【0019】} \quad \dots\dots\dots (3)$$

動振幅の増大を防ぐとともに、更に(2)の工程によって、駆動軸のねじり振動系にダンピング要素を生成してねじり振動を抑制することを特徴とする電動機ねじり振動抑制制御方法である。

【0023】(1)前記速度制御器により出力された前記トルク指令信号 $T_{RFA}$ に対し、前記電動機平均速度信号 $N_{MAVG}$ を微分した信号に電動機の機械的時定数 $\tau_M$ を乗じた信号を電動機加速トルク信号 $T_{MAFB}$ として帰還し、その偏差信号を電動機負荷トルク補償器等の比例ゲイン積分演算器により増幅することによって得られた電動機負荷トルク推定信号 $T_{RFL}$ を前記速度制御器より出力されるトルク指令信号 $T_{RFA}$ に加えた信号 $T_{RPM}$ を最終的なトルク指令として電動機のトルクを制御することにより、電動機負荷外乱トルクを打ち消す。

【0024】(2)前記(1)の工程の電動機負荷トルク推定信号 $T_{RFL}$ をハイパスフィルタとローパスフィルタを介することによって前記(1)の工程によって推定した電動機負荷トルク推定信号 $T_{RFL}$ に含まれる定常信号成分と高周波信号成分を除去して得られた駆動軸トルクの振動成分推定信号と、前記電動機機械的時定数 $\tau_M$ と、負荷の機械的時定数 $\tau_L$ と、駆動軸のねじり時定数 $\tau_v$ と、前記速度制御器の比例ゲイン $A$ と、予め設定したダンピング係数 $\delta$ と、前記電動機負荷トルク補償器の比例ゲイン $G$ 及び積分時定数 $\tau_{LI}$ より、次の(4)式、

(5)式、(6)式の3種類のいずれか一つの式を用いてねじり振動ダンピング制御信号 $N_{DP}$ を演算する。

【0025】

【数10】

$$\begin{aligned}
 N_{DP} = & \left( \frac{2\delta}{\omega \tau_L} \right) \left[ \sqrt{1 + \frac{\tau_L}{\tau_M}} \right] \\
 & \times \left\{ \frac{1 + \left[ \frac{1+G}{G} + \frac{\omega \left( \frac{\tau_M}{A} \right)}{2\delta G \sqrt{1 + \frac{\tau_L}{\tau_M}}} \right] \tau_{L1} s}{1 + \tau_{L1} s} \right\} \\
 & \times \left( 1 + \frac{\tau_M s}{A} \right) HPF(s) \cdot LPF(s) \cdot T_{RFL}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

【数11】

$$\begin{aligned}
 N_{DP} = & \left( \frac{2\delta}{\omega \tau_L} \right) \left[ \sqrt{1 + \frac{\tau_L}{\tau_M}} \right] \left\{ \frac{1 + \left( \frac{1+G}{G} \right) \tau_{L1} s}{1 + \tau_{L1} s} \right\} \\
 & \times \left( 1 + \frac{\tau_M s}{A} \right) HPF(s) \cdot LPF(s) \cdot T_{RFL}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

【数12】

$$\begin{aligned}
 N_{DP} = & \left( \frac{2\delta}{\omega \tau_L} \right) \left[ \sqrt{1 + \frac{\tau_L}{\tau_M}} \right] \left( 1 + \frac{\tau_M s}{A} \right) \\
 & \times HPF(s) \cdot LPF(s) \cdot T_{RFL}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

但し、 $s$ はラプラス演算子であり、 $\omega$ はねじり振動系の固有共振周波数であり次式で表される。

\*【0026】

【数13】

$$\omega = \sqrt{\frac{\tau_M + \tau_L}{\tau_M \tau_L \tau_V}}
 \tag{7}$$

前記速度指令信号 $N_{REF}$ より前記ねじり振動ダンピング制御信号 $N_{DP}$ を減じることにより得られる速度指令信号 $N_{REF1}$ に対し前記電動機平均速度 $N_{MAVG}$ を帰還して電動機の速度を制御することによりねじり振動系にダンピング要素を生成する。

【0027】また、本願の第4～6の発明は、前記1～3の発明の(2)の工程に代えて、次の(3)の工程によるダンピング要素を生成するようにしたものである。

【0028】(3)前記(1)の工程の電動機負荷トルク推定信号 $T_{RFL}$ をハイパスフィルタとローパスフィルタを介することによって前記(1)の工程によって推定した電動機負荷トルク推定信号 $T_{RFL}$ に含まれる定常信号成分と高周波信号成分を除去して得られた駆動軸トル

クの振動成分推定信号と、前記電動機機械的時定数 $\tau_M$ と、負荷の機械的定数 $\tau_L$ と、駆動軸のねじり時定数 $\tau_V$ と、前記速度制御器の比例ゲイン $A$ と、予め設定したダンピング係数 $\delta$ と、前記電動機負荷トルク補償器の比例ゲイン $G$ 及び積分時定数 $\tau_{L1}$ より次の(8)式、

(9)式、(10)式の3種類のいずれか一つの数式を用いてねじり振動ダンピング制御信号 $T_{DP}$ を演算し、前記速度制御器より出力されるトルク指令 $T_{RFA}$ より前記ねじり振動ダンピング制御信号 $T_{DP}$ を減じることにより得られるトルク指令信号に従って電動機のトルクを制御することによりねじり振動系にダンピング要素を生成する。

【0029】

【数14】

$$T_{DP} = \left( \frac{2\delta A}{\omega \tau_L} \right) \left\{ \sqrt{1 + \frac{\tau_L}{\tau_M}} \right\} \\ \times \left\{ \frac{1 + G}{G} + \frac{\omega \left( \frac{\tau_M}{A} \right)}{2\delta G \sqrt{1 + \frac{\tau_L}{\tau_M}}} \right\} \tau_{L1} s \\ \times \left( 1 + \frac{\tau_M s}{A} \right) HPF(s) \cdot LPF(s) \cdot T_{RFL}$$

..... (8)

【数15】

$$T_{DP} = \left( \frac{2\delta A}{\omega \tau_L} \right) \left\{ \sqrt{1 + \frac{\tau_L}{\tau_M}} \right\} \left[ \frac{1 + \left( \frac{1+G}{G} \right) \tau_{L1} s}{1 + \tau_{L1} s} \right] \\ \times \left( 1 + \frac{\tau_M s}{A} \right) HPF(s) \cdot LPF(s) \cdot T_{RFL}$$

..... (9)

【数16】

$$T_{DP} = \left( \frac{2\delta A}{\omega \tau_L} \right) \left\{ \sqrt{1 + \frac{\tau_L}{\tau_M}} \right\} \left( 1 + \frac{\tau_M s}{A} \right) \\ \times HPF(s) \cdot LPF(s) \cdot T_{RFL}$$

..... (10)

【0030】

【作用】第1～3の発明に対応する実施例を示す制御ブロック図1における動作について説明する。図1の制御ブロックを簡単に説明する。

【0031】11は速度制御器の比例積分器を示すブロック、12は電動機の機械的時定数を示すブロック、13は電動機負荷軸のねじり時定数を示すブロック、14は負荷の機械的時定数を示すブロック、15は負荷トルク $T_{LS}$ を示すブロック、17は電動機トルク制御器を示すブロック、19は一定周期毎の電動機平均速度を演算する機能を示すブロック、20は電動機速度から電動機加速トルクを演算する機能を示すブロック、21は電動機の負荷トルクの推定値 $T_{RFL}$ を演算する比例積分演算器を示すブロック、22は電動機の負荷トルクの推定値 $T_{RFL}$ の定常トルク信号分を除去するハイパスフィルタ\*

$$T_{RFA} - \tau_M N_M s = T_{L1} - T_{RFL}$$

電動機負荷トルク推定値 $T_{RFL}$ と電動機平均速度 $N_{MAVG}$ の間には次式が成り立つ。

$$T_{RFL} = (T_{RFA} - \tau_M N_M s) G \left( \frac{1 + \tau_{L1} s}{\tau_{L1} s} \right) \dots (12)$$

(12)式に(11)式の $(T_{RFA} - \tau_M N_{MAVG})$ を代入し、 $T_{RFL}$ を求める。

\*を示す制御ブロック、23は高周波トルク信号成分を除去するハイパスフィルタを示す制御ブロック、24は電動機負荷軸の振動にダンピング要素を生成させるための制御信号 $N_{DP}$ を演算するブロックである。

【0032】説明をわかりやすくするために、一定周期毎の電動機の平均速度を演算するブロック19及び電動機のトルクを制御するブロック17はいずれも信号の遅れが小さいので無視する。また、ブロック11の速度制御器を比例ゲインのみとする。

【0033】まず、電動機の負荷外乱トルクを打ち消す動作について説明する。前記速度制御器より出力されるトルク指令 $T_{RFA}$ と、前記電動機負荷トルク推定値 $T_{RFL}$ と、電動機負荷トルク $T_{L1}$ と、電動機速度 $N_M$ には次式が成り立つ。

$$T_{RFA} - \tau_M N_M s = T_{L1} - T_{RFL} \dots (11)$$

【0035】

【数17】

【0036】

【数18】

$$T_{RFL} = \left[ \frac{1 + \tau_{L1} s}{1 + \left( \frac{1+G}{G} \right) \tau_{L1} s} \right] \quad \dots (13)$$

次にねじり振動にダンピング要素を生成する作用について説明する。

【0037】図1のブロック21が演算した電動機負荷軸トルク推定値 $T_{RFL}$ によって電動機負荷軸トルク $T_{L1}$ を打ち消すように制御するとき、電動機負荷軸トルク $T_{L1}$

\* $T_{L1}$ の打ち消し誤差 $\Delta T_{L1}$ は、電動機の負荷軸トルクと(13)式の電動機負荷軸トルク推定値 $T_{RFL}$ の差より

求められる。  
【0038】

【数19】

$$\Delta T_{L1} = T_{L1} - T_{RFL} = \left[ \frac{\left( \frac{\tau_{L1}}{G} \right) s}{1 + \left( \frac{1+G}{G} \right) \tau_{L1} s} \right] T_{L1} \dots (14)$$

第1の発明の制御ブロック図1を(13)式と(14)式の関係を用いて変換すると図2となる。

※性式を誘導した式を次に示す。

【0040】

【0039】図2より電動機速度指令 $N_{REF}$ 及び負荷トルク $T_{L2}$ の変化に対する電動機負荷軸トルク $T_{L1}$ の応答特性

【数20】

$$\begin{aligned} T_{L1} s^2 + \left\{ \left[ \frac{1 + \tau_{L1} s}{1 + \left( \frac{1+G}{G} \right) \tau_{L1} s} \right] \left[ \frac{\tau_L}{1 + \frac{\tau_M s}{A}} \right] \right. \\ \times H P F(s) \cdot L P F(s) \cdot D_1(s) \\ \left. - \left[ \frac{\left( \frac{\tau_{L1}}{G} \right) s}{1 + \left( \frac{1+G}{G} \right) \tau_{L1} s} \right] \left( \frac{\tau_M}{A} \right) \right\} \omega_1^2 T_{L1} s + \omega_1^2 T_{L1} \\ = \left[ \frac{\tau_{L1} s}{1 + \frac{\tau_M s}{A}} \right] \omega_1^2 N_{REF} + \omega_1^2 T_{L2} \quad \dots (15) \\ \text{但し、} \omega_1 = 1 / \sqrt{\tau_L \tau_v} \quad \dots (16) \end{aligned}$$

電動機速度指令 $N_{REF}$ 、電動機速度 $N_M$ 、電動機負荷軸トルク $T_{L1}$ 、負荷トルク $T_{L2}$ の過渡信号成分をそれぞれ $N_{REF1}$ 、 $T_{L11}$ 、 $T_{L21}$ とすると、電動機負荷軸トルクの過渡信号成分 $T_{L11}$ は、図1の22のブロックのハイパス

★スフィルク $H P F(s)$ と23のブロックのローパスフィルタ $L P F(s)$ を信号の減衰がほとんどなく通過するので次式が成り立つ。

【0041】

$$T_{L1} \cdot H P F(s) \cdot L P F(s) \cdot D_1(s) = T_{L11} \cdot D_1(s) \quad \dots (17)$$

この(17)式を用いると、(15)式の過渡信号成分に関する特性式は次のようになる。

【0042】

【数21】



$$\begin{aligned}
 T_{L11} s^2 + & \left\{ \left[ \frac{1 + \tau_{L1} s}{1 + \left( \frac{1+G}{G} \right) \tau_{L1} s} \right] \left[ \frac{\tau_L}{1 + \frac{\tau_M s}{A}} \right] D_1(s) \right. \\
 & \left. - \left[ \frac{\left( \frac{\tau_{L1}}{G} \right) s}{1 + \left( \frac{1+G}{G} \right) \tau_{L1} s} \right] \left( \frac{\tau_M}{A} \right) \right\} \omega_1^2 T_{L11} s + \omega_1^2 T_{L11} \\
 & = \left[ \frac{\tau_{L1} s}{1 + \frac{\tau_M s}{A}} \right] \omega_1^2 N_{RPF11} + \omega_1^2 T_{L21} \quad \dots (18)
 \end{aligned}$$

あらかじめ設定したダンピング係数を $\delta$ とし、駆動軸共振角周波数 $\omega$ を次式として、図1の24のブロックの第1の発明の場合の $D_1(s)$ の関数を示す。

$$\omega = \sqrt{(\tau_M + \tau_L) / (\tau_M \tau_L \tau_V)} \quad \dots (19)$$

【数23】

$$\begin{aligned}
 D_1(s) = & \left( \frac{2\delta}{\omega \tau_L} \right) \left( \sqrt{1 + \frac{\tau_L}{\tau_M}} \right) \\
 & \times \left\{ \frac{1 + \left[ \frac{1+G}{G} + \frac{\omega \left( \frac{\tau_M}{A} \right)}{2\delta G \sqrt{1 + \frac{\tau_L}{\tau_M}}} \right] \tau_{L1} s}{1 + \tau_{L1} s} \right\} \\
 & \times \left( 1 + \frac{\tau_M s}{A} \right) \quad \dots (20)
 \end{aligned}$$

(20) 式の $D_1(s)$ を(15)式の $\omega_1$ を用いて表す。

【0044】

$$\begin{aligned}
 D_1(s) = & \left( \frac{2\delta}{\omega_1 \tau_L} \right) \\
 & \times \left\{ \frac{1 + \left[ \frac{1+G}{G} + \left( \frac{\omega_1}{2\delta G} \right) \left( \frac{\tau_M}{A} \right) \right] \tau_{L1} s}{1 + \tau_{L1} s} \right\} \\
 & \times \left( 1 + \frac{\tau_M s}{A} \right) \quad \dots (21)
 \end{aligned}$$

(21) 式を(18)式に代入し、電動機負荷軸トルク

の過渡信号成分 $T_{L11}$ を求める。

★【0045】  
★40 【数25】

$$\begin{aligned}
 T_{L11} = & \left( \frac{\omega_1^2}{s^2 + 2\delta\omega_1 s + \omega_1^2} \right) \left( \frac{\tau_L s}{1 + \frac{\tau_M s}{A}} \right) N_{RPF11} \\
 & + \left( \frac{\omega_1^2}{s^2 + 2\delta\omega_1 s + \omega_1^2} \right) T_{L21} \quad \dots (22)
 \end{aligned}$$

(22) 式の右辺第1項は、電動機速度指令の過渡信号成分 $N_{RPF11}$ に対する電動機負荷軸トルクの過渡信号成分 $T_{L11}$ の応答を示し、右辺第2項は負荷トルクの過渡信号成分 $T_{L21}$ に対する電動機負荷軸トルクの過渡信号成分

分 $T_{L21}$ に対する電動機負荷軸トルクの過渡信号成分 $T_{L11}$ の応答を示している。

【0046】ダンピング係数 $\delta$ を例えば0.8に選ぶと、(22)式の右辺の第1項、第2項はいずれも安定

17

な2次系の応答となるため、電動機速度指令や負荷トルクの急変に対しても安定な応答特性となる。

【0047】次に(20)式において次の条件にてD \*

$$\frac{1+G}{G} \gg \left( \frac{\omega}{2\delta G \sqrt{1+\frac{\tau_L}{\tau_M}}} \right) \left( \frac{\tau_M}{A} \right) \cdots (23)$$

【数27】

$$D_1(s) \approx \left( \frac{2\delta}{\omega \tau_L} \right) \left[ \sqrt{1+\frac{\tau_L}{\tau_M}} \right] \left[ \frac{1+\left(\frac{1+G}{G}\right) \tau_L s}{1+\tau_L s} \right] \times \left( 1+\frac{\tau_M s}{A} \right) \cdots (24)$$

(24)式は、図1の24のブロックの第2の発明の場合のD<sub>1</sub>(s)の関数であり、(23)式の条件が成立するときは、(24)式のD<sub>1</sub>(s)を(18)式に代入すると(22)式が得られ、安定な応答特性となる。 ※

$$G \gg 1 \text{ 又は } \tau_L \ll 1$$

【数28】

$$D_1(s) \approx \left( \frac{2\delta}{\omega \tau_L} \right) \left[ \sqrt{1+\frac{\tau_L}{\tau_M}} \right] \left( 1+\frac{\tau_M s}{A} \right) \cdots (26)$$

(26)式は、図1の24のブロックの第3の発明の場合のD<sub>1</sub>(s)の関数であり、(25)式の条件が成立するときは、(26)式のD<sub>1</sub>(s)を(18)式に代入すると(22)式が得られ、安定な応答特性となる。

【0051】以上、電動機の負荷外乱トルクT<sub>L</sub>を打ち消す手段と電動機駆動軸トルクの変化の運動にダンピング要素を生成する手段を併せて用いることにより、駆動軸トルクT<sub>L</sub>の振動が十分に抑制された安定な駆動制御特性を実現する制御の動作を示した。

【0052】次に第4〜6の発明の作用について説明する。

【0053】第4〜6の発明は、ダンピング制御信号をブロック11の速度制御器の出力側に入力するために、第1〜3の発明のブロック24に行うダンピング制御信号の演算式にブロック11の速度制御器の比例ゲインAを乗じたものであり、振動抑制の作用については、第1〜3の発明と同様である。

【0054】

【実施例】以下、第1〜3の発明の具体的な実施例を図1に基づいて説明する。

【0055】なお、従来例を示す図9と同じ構成要素については同じ符号を用いて説明を省略する。

【0056】本実施例では、平均速度演算器19によって電動機駆動軸に取付けた速度検出器3(図5参照)の信号について一定周期t<sub>0</sub>間の平均値を演算する。

【0057】この一定周期毎の平均速度の演算の方法は、例えば、速度検出器がパルス信号発生器であれば、速度検出器3より出力されるパルス信号の周期t<sub>0</sub>間の計数値をt<sub>0</sub>で割ることによってt<sub>0</sub>間のパルスの平均

18

\*<sub>1</sub>(s)を近似する。

【0048】

【数26】

※【0049】(21)式において次の条件にてD<sub>1</sub>(s)を近似する。

【0050】

$$\cdots (25)$$

周波数として、t<sub>0</sub>間の平均速度を求めることができる。アナログ式の速度検出発電機の場合は、一定周期t<sub>0</sub>間で速度検出器の信号をn回読み、これらの信号の合計値の1/nをt<sub>0</sub>間の平均速度とするか又は1次遅れ要素を持つフィルタを介して平均化した平均速度とすることができ。

【0058】この電動機平均速度をN<sub>MAVG</sub>とし、まず速度制御器11の動作について説明する。

【0059】速度指令N<sub>REF</sub>と電動機平均速度N<sub>MAVG</sub>とその偏差を速度制御器11に入力すると、その速度偏差信号に比例ゲインAを乗じた信号と、更にその信号を時定数τ<sub>i</sub>にて積分した信号とを加えた信号をトルク指令信号T<sub>RFA</sub>として出力する。速度制御器11が比例ゲインAのみを持つ場合は、その速度偏差信号にAを乗じた信号をT<sub>RFA</sub>として出力する。

【0060】次に、電動機加速トルク演算器20の動作について説明する。

【0061】電動機平均速度N<sub>MAVG</sub>が電動機加速トルク演算器20に入力されると、前記電動機平均速度N<sub>MAVG</sub>を微分した値に電動機の機械的時定数τ<sub>M</sub>を乗じた値の信号T<sub>MAFB</sub>を出力する。この信号T<sub>MAFB</sub>は電動機の加速トルク演算信号となる。

【0062】次に電動機負荷トルク補償器21の動作について説明する。

【0063】速度制御器11のトルク指令信号T<sub>RFA</sub>を電動機の加速トルク指令とし、その指令に対し電動機加速トルク演算器20の出力信号T<sub>MAFB</sub>を電動機の加速トルク信号として帰還し、その2つの信号の偏差を電動機負荷トルク補償器21に入力すると、その電動機加速ト

ルック制御器 21 は、その 2 つの信号偏差の信号に比例ゲイン  $G$  を乗じた信号  $T_{RFLP}$  とその信号を時定数  $\tau_{L1}$  にて積分して得られた信号  $T_{RFLI}$  を加えた信号  $T_{RFL}$  を出力し、電動機加速トルク信号  $T_{MAFB}$  が、速度制御器 11 の出力のトルク指令信号  $T_{RFA}$  に一致するように制御する。

【0064】速度制御器 11 の出力のトルク指令信号  $T_{RFA}$  と電動機加速トルク制御器 21 の出力信号  $T_{RFL}$  を加えた信号をトルク指令  $T_{RPM}$  として電動機のトルク制御を行うことにより電動機の加速トルクの外乱となつて 10 いる駆動軸トルク  $T_{L1}$  に対しては、電動機負荷トルク補償器 21 の出力の電動機負荷トルク推定値信号  $T_{RFL}$  によって打ち消す方向に制御される結果、加速中や負荷急変時の駆動軸のねじれによって発生する電動機の負荷外乱トルクの変化の影響を受けにくく、ねじり振動の振幅が大きくなるのを抑制する。

【0065】次にダンピング制御器 24 の動作について説明する。

【0066】前記電動機負荷トルク補償器 21 によって演算した電動機負荷トルク推定値信号  $T_{RFL}$  をハイパス 20 フィルタ 22 に入力すること、前記電動機負荷トルク推定値信号  $T_{RFL}$  の定常成分信号が除去された信号が出力され、ローパスフィルタ 23 に入力される。

【0067】ローパスフィルタ 23 はその信号から高周波成分信号を除去する。その結果、制御器 24 には定常成分と高周波成分が除去された駆動軸の振動周波数成分の信号が出力される。

【0068】ダンピング制御器 24 は、駆動軸の振動周波数成分の信号に特性関数  $D_1(s)$  を乗じてダンピング制御信号  $N_{DP}$  を演算出力する。

【0069】速度指令  $N_{REF}$  より前記ダンピング制御信号  $N_{DP}$  を減じた信号を新たな速度指令信号とし、その信号に対し前記の電動機平均速度  $N_{MAVG}$  を帰還信号として電動機の速度を制御することにより、電動機負荷駆動軸トルクの振動にダンピング要素を生成することができる。

【0070】図 4 は、第 1～3 の発明の制御方法を適用することによって、加速中や負荷急変時における電動機負荷軸振動が抑制された安定な可変速特性例を示してい

る。  
【0071】図 3 に示す第 4～6 の発明は、ダンピング制御信号をブロック 11 の速度制御器の出力側に入力するために、第 1 の発明のブロック 24 にて行うダンピング制御信号の演算式にブロック 11 の速度制御器の比例ゲイン  $A$  を乗じたものであり、第 1 の発明の動作と同じになる。

#### 【0072】

【発明の効果】以上に述べたように、本発明によれば、加減速中や急激な負荷変動時の負荷、駆動軸のねじれによって発生する電動機の外乱トルクを打ち消すように電動機のトルクが抑制され、ねじり振動が抑制されると同時に負荷応答特性も改善される。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】 本願の第 1～3 の発明の具体的な実施例を示すブロックダイアグラムである。

【図 2】 第 1～3 の発明の作用を説明するために図 1 を省略したブロックダイアグラムである。

【図 3】 本願の第 4～6 の発明の具体的な実施例を示すブロックダイアグラムである。

【図 4】 本発明の効果を示す速度制御装置の加速特性と負荷応答特性図である。

【図 5】 公知のねじり振動系を含む可変速制御装置構成図である。

【図 6】 公知のねじり振動系を含む速度制御ブロックダイアグラムである。

【図 7】 ねじり振動の影響を強く受けた場合の速度制御装置の加速特性と負荷応答特性図である。

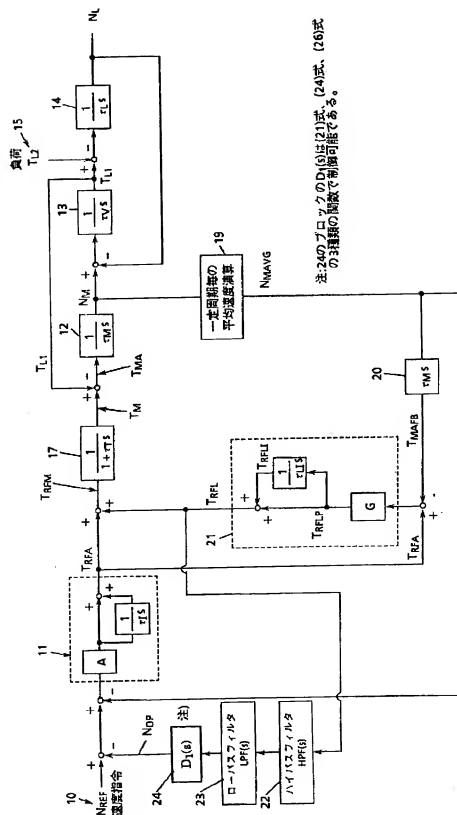
【図 8】 従来技術のねじり振動抑制フィルタを備えた速度制御系のブロックダイアグラムである。

【図 9】 先の提案の第 1 実施例の構成を示すブロックダイアグラムである。

#### 【符号の説明】

1 可変速制御装置、2 電動機、3 速度検出器、4 ねじり剛性要素、5 機械、10 速度指令、11 速度制御器、17 電動機加速トルク演算器、21 電動機負荷トルク補償器、22 ハイパスフィルタ、23 ローパスフィルタ、24 ダンピング制御器

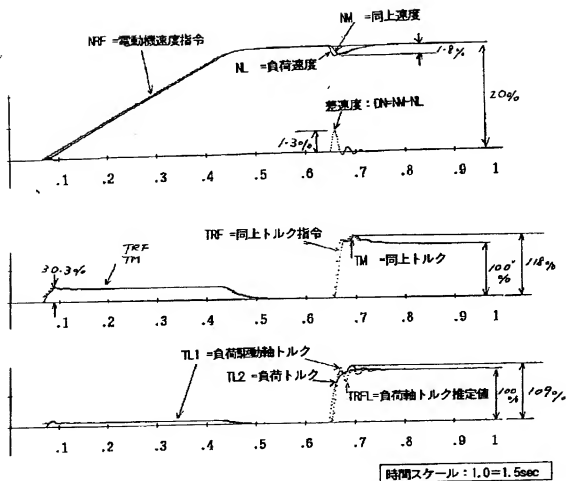
【図 1】



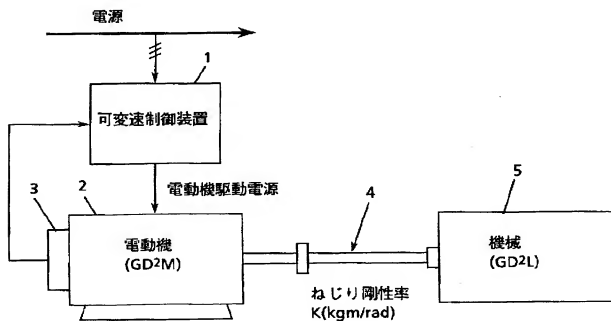




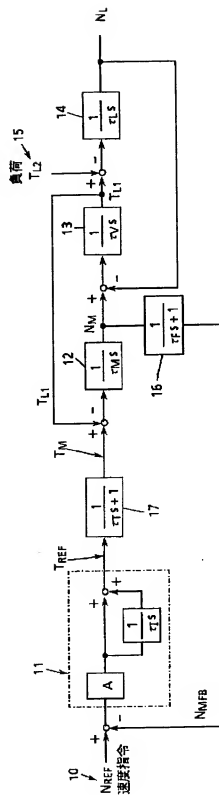
【図4】



【図5】

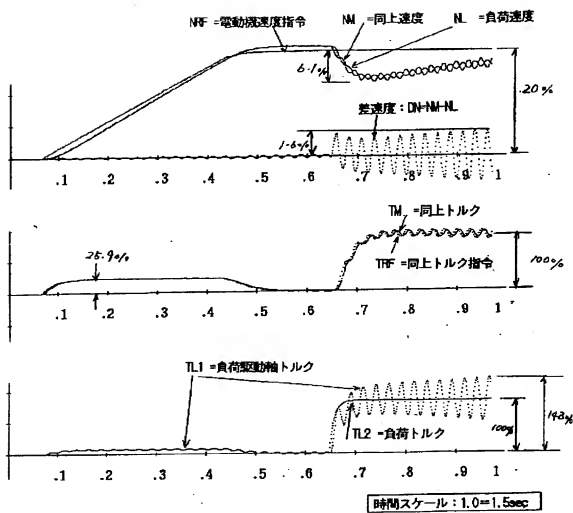


【図6】

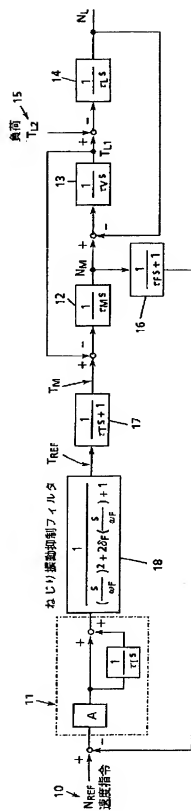




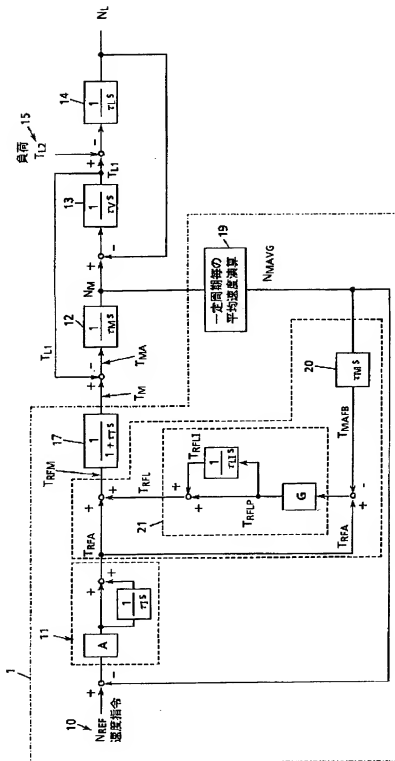
【図 7】



【図8】



【图9】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**